

Comunicación B-12

EL TORNADO DE L'ESPLUGA DE FRANCOLÍ. MEDIDAS DE CAMPO Y TRATAMIENTO DE IMÁGENES DIGITALIZADAS

Miguel Gaya

Centro Meteorológico Territorial de Baleares, INM

Ángel Redaño

Dpt. Astronomía i Meteorologia. Universitat de Barcelona

RESUMEN

Durante las últimas décadas se ha dedicado un gran esfuerzo a la aplicación de técnicas que logren obtener información de las variables meteorológicas en los tornados, en especial del campo de viento. En el caso del tal-rindo de L'Espluga de Francolí, se dispone de un vídeo de razonable calidad que sigue las evoluciones del fenómeno durante unos diez minutos. El tratamiento de las imágenes ha permitido analizar el movimiento de algunos segmentos fácilmente reconocibles. El estudio de campo, por otra parte, permitió estimar la velocidad tangencial siguiendo los trabajos de Fujita. De la confrontación de ambas metodologías se comprueba la aceptable bondad de las mediciones de campo que se suelen llevar a cabo y que, en este caso, fueron realizadas 36 horas después de los acontecimientos.

1. Introducción

Desde 1991, se ha reconocido la existencia de más de 25 tornados en España. En buena parte de ellos, se ha llevado a cabo el estudio de campo que ha permitido determinar si, efectivamente, se trató de un tornado u otro fenómeno asociado a la tormenta severa. Estos estudios no habían sido objeto de interés en nuestro país hasta muy recientemente (Gayà y Soliño, 1992. Soliño y Gayà, 1992). La experiencia en este campo, aportada por Soliño, ha sido fundamental en el inicio de este tipo de estudio, sistemático y rutinario. Los trabajos de campo realizados en otros países, fundamentalmente en Estados Unidos, han determinado la aparición de diversas escalas, en su mayoría de tipo cualitativo, que permiten determinar con cierta aproximación la velocidad del viento en función de los desperfectos que ocasiona en determinadas estructuras. La escala de Fujita (1981) ha sido, probablemente, la más usada hasta la fecha. Sin embargo, los umbrales que fija la escala quedan determinados por el tipo de estructuras potencialmente destruibles o movibles que existen en los Estados Unidos. Las viviendas o edificaciones portátiles, realizadas con mate-

riales prefabricados, semejantes a kits, han permitido una cierta homogeneización de las medidas de campo. En España, las diferentes modalidades de construcción popular y la variedad de cultivos y bosques, dejaba muchos interrogantes sobre la estima de la fuerza máxima de los vientos en los tornados y otros fenómenos severos que se han inspeccionado.

En los grados inferiores de la escala (FO y F1), se ha comparado con la información anemométrica en situaciones de viento fuerte, de origen no siempre convectivo, que haya afectado a un área mucho más extensa y en la que se ha dispuesto de las respuestas del medio a su empuje. Esta comparativa debe ser cautelosa, pues vientos de intensidad similar pueden tener manifestaciones diferentes según la climatología aprendida por la vegetación. Estos estudios ya han sido iniciados en otros países [véase Richard L. Livingston y Joseph T. Schaefer, (1993)] donde se ha encontrado una estrecha relación entre unforest *index* y la existencia de tornados de intensidad F2 y superior debido a que, en las zonas boscosas, las trayectorias de los tornados y reventones resultan más fáciles de detectar y su estudio más preciso.

Las medidas de la fuerza del viento más fiables se realizan utilizando el radar Doppler. Mediante equipos móviles, Howard B. Bluestein *et al.* (1993) y otros, han podido realizar mediciones en tomados donde la escala F no había sido convenientemente aplicada.

La fotogrametría realizada a partir de películas de *super8* y, sobre todo, mediante vídeos, ha permitido documentar algunos tornados con imágenes en vivo y usarlas, mediante tratamiento digitalizado, para determinar la bondad de las estimas que se llevaron a cabo en las mediciones de campo. En los estudios fotogramétricos, las mediciones no pueden realizarse en las zonas ocultas de la imagen, donde sólo la porción exterior y orientada a la cámara puede ser reconocida.

Las imágenes captadas por Josep M. Morato y emitidas por la mayoría de las cadenas del Estado, fueron primeramente difundidas por la Televisión Autonómica Catalana (TV3) y son, hasta la fecha, uno de los mejores documentos gráficos que se han registrado de un tornado en España. Esta rara oportunidad se ha manifestado en el hecho de la relativamente escasa documentación existente sobre el tema [véase, por ejemplo, Wakimoto y Martin (1992) o Golden y Purcell (1977)]. Sin embargo, la proliferación de vídeos domésticos puede tener su incidencia en otras filmaciones de tornados, por lo que es interesante desarrollar métodos y técnicas de tratamiento de esta información con el fin de mejorar su conocimiento.

2. El marco geográfico

El tomado de L'Espluga de Francolí tuvo lugar hacia las 15 UTC del día 31 de agosto de 1993. La situación sinóptica presentaba las características que se apuntan por Joan Arús y otros (1996).

El entorno geográfico se caracteriza por estar en una zona relativamente alta de la Sierra Prelitoral Catalana, prácticamente en un collado, a unos 400 metros sobre el nivel del mar. La sierra, que corre de SW a NE, casi paralela a la costa, tiene hacia SSW de L'Espluga unas alturas superiores a los mil metros. A finales de agosto, el entorno se hallaba seco y con los cultivos arbóreos poblados de hojas. En la zona predominan los avellanos y almendros y, en el entorno más próximo al río, los chopos y otros árboles de ribera.

La zona urbana está constituida por edificaciones de escasa altura y mayoritariamente cubiertas por tejado árabe sobre bovedilla de barro cocido. Los almacenes y otros edificios industriales están cubiertos por piezas de fibrocemento ancladas a estructuras de hormigón o hierro.

3. Medidas de campo

El estudio de campo del tornado de L'Espluga de Francolí fue realizado por J. Arús, del CMT de Cataluña, y por M. Gayà en la jornada del día 2 de septiembre. Los desperfectos que ocasionó el tornado sólo habían sido parcialmente reconstruidos o retirados en el casco urbano y se estaba iniciando la reparación de los tendidos eléctricos. La tala de árboles más dañados no se había iniciado, por lo que se pudo realizar la inspección con toda la información implícita disponible.

La Fig. 1 muestra, en tono gris oscuro, el recorrido que siguió el tornado. En trama gris claro se destaca las zonas en las que hubo, también, desperfectos reseñables aunque notablemente inferiores a los que se advirtieron en la zona anterior. Se puede observar cómo los anchos de ambas zonas no son coincidentes. Ello es debido a que, en el núcleo urbano y sus proximidades, los elementos removibles son más numerosos y pudieron verse afectados con vientos muy inferiores a los propios del tornado, que no les afectó directamente, sino por su área de influencia inmediata. Con una trayectoria de unos 2 kilómetros de longitud, y un ancho máximo de unos 100 metros, el tornado de L'Espluga no fue destacable frente a otros que han sido reconocidos en España.

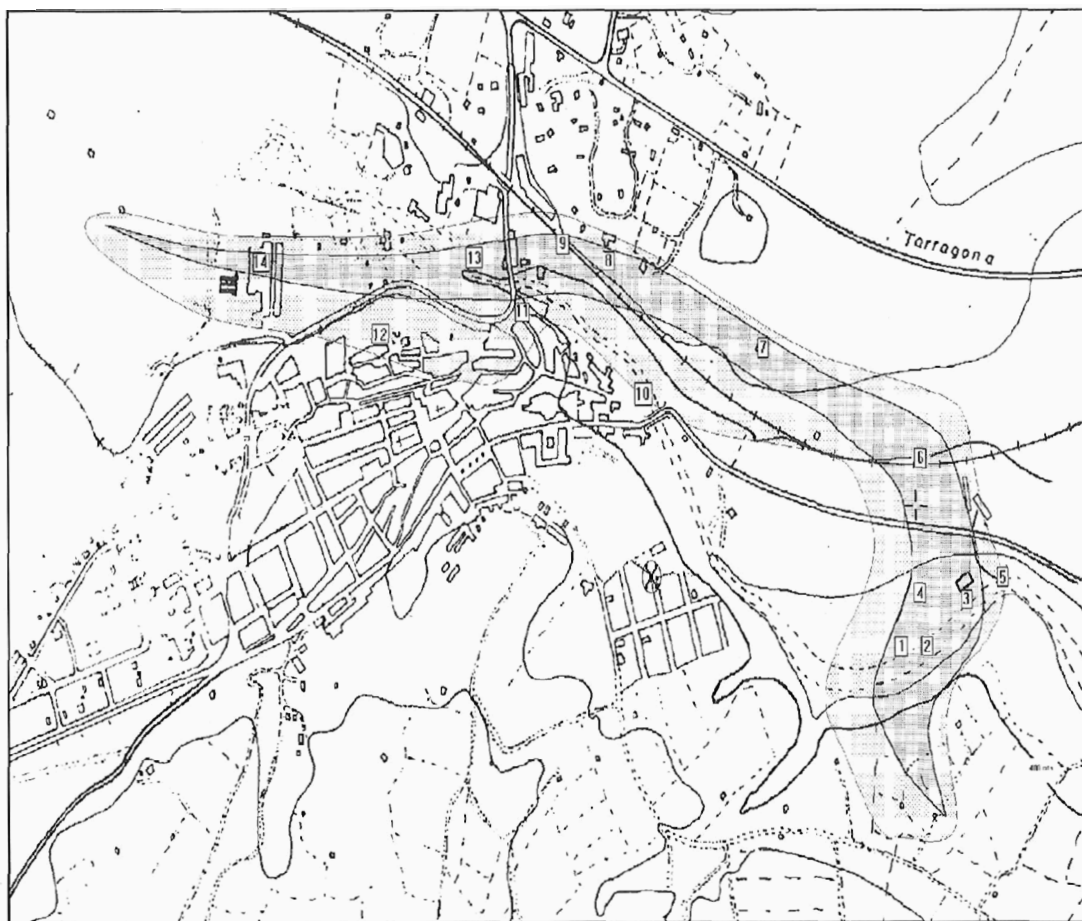


Fig. 1. Plano de L'Espluga de Francolí mostrando la trayectoria seguida por el tornado (tono gris oscuro) y la zona de desperfectos en sus proximidades. El símbolo (X) indica el lugar desde donde fueron captadas las imágenes de video

La velocidad máxima estimada por sus efectos en estructuras y sobre la vegetación fue:

Punto 1: El tornado ya está perfectamente formado y coincide, aproximadamente, con las primeras imágenes captadas desde el punto (X). El tornado habría salvado el desnivel del cauce del río, sin embargo, la mayor intensidad a cierta altura ubicó los destrozos talando los árboles de ribera a una cierta altura.

Sin embargo, a escasa distancia (punto 2) los árboles ya son derribados aunque no transportados significativamente. Con las características reseñadas, la intensidad fue estimada en torno a los 140 km/h.

Punto 3: Una granja abandonada aunque en relativo buen estado fue notablemente afectada. Su techumbre desplomada se sostenía con perchas de hormigón (¿prefabricado?) que reposaban sobre jácenas y columnas también de hormigón. Las ventanas estaban en regular estado y la porción de muro derribado fue el que recibió el mayor empuje del viento. A pesar de la aparatosidad de los destrozos el entorno inmediato al

lugar no permitía elevar la velocidad del viento por encima de los 170 km/h. Se podía explicar mediante el pequeño desplazamiento de la techumbre de fibrocemento que actuaría a modo de vela desplazando y elevando las perchas (que sólo estaban apoyadas y no empotradas en las jácenas o columnas). El posterior golpe con los apoyos quebró la perchas que no pudieron mantenerse y se desplomaron.

La posible explosión de la edificación que pudiera derivarse de la diferente presión interior respecto de la que pudiera tener el núcleo del tomado ya ha sido desestimada por numerosos autores. T. P. Marshall (1990) advierte que la solución hay que encontrarla más en el empuje del aire que se ha introducido por ventanas o puertas en mal estado y orientadas hacia el embate del tornado. En la granja, la mayoría de las ventanas a barlovento de la planta superior estaban rotas (desde antes o por el tomado) mientras que las paredes de sotavento estaban apoyadas por un muro de un bancal. El efecto no puede ser otro que facilitar el movimiento de la techumbre.

En el punto 4 un poste de hormigón pretensado fue derribado a pesar de su excelente estado (la línea era nueva) pero no así el anterior que era de madera y que cedió instantes antes. La tensión del cableado y la reja que lo coronaba permitió que el poste fuera derribado. El impacto con el suelo lo rompió, no el viento. La velocidad estimada estuvo en torno a los 130 km/hora.

En el punto 5, se nos dijo que un gran árbol habría alcanzado el lugar en el que se encontraba después de haber sido transportado desde un lugar desconocido. La inspección reconoció que el árbol se hallaba en el mismo lugar y que un vertedero de aguas residuales de otra granja mantenía el suelo absolutamente encharcado y que, al caer sobre la vegetación que lo ocultaba, dejó un espacio abierto que no era frecuentado precisamente por la impenetrabilidad de la maleza y, sobre todo, por su insalubridad (también reconocida). En este punto debe decirse que la información oral es fundamental en el reconocimiento de campo, pero no debe tenerse en cuenta como fiel a la realidad. La frase «este árbol no estaba aquí» debe entenderse, en ocasiones, como «no sabía que aquí hubiera un árbol como éste».

A partir del punto 6, el tomado fue reduciendo su diámetro y su recowido alcanzó la pequeña meseta que se halla al otro lado de la vía férrea. Lo más destacable de esta zona fue el encontrar un casa de aperos totalmente derruida. A pesar de que ya era ruinoso antes, los únicos puntos que permanecieron en pie fueron las esquinas. La explicación que se dio fue semejante a la dada en la granja salvo en lo que concierne a la techumbre, que ya era inexistente.

Finalmente el tornado se aproximó y rozó el núcleo urbano. Los destrozos fueron relativamente escasos salvo en tejados escasamente fijados. Por fortuna no hubo desgracias personales a pesar de que en el punto 12, un niño estuviera mirando las evoluciones del tomado, lo vio acercarse desde la ventana y parte del tejado que lo cubría se vio peligrosamente afectado.

4. Digitalización y análisis de las imágenes de vídeo

Las imágenes de vídeo recogen una secuencia de cuatro minutos de las evoluciones del tornado tomadas desde una distancia de unos 850 metros. Las imágenes fueron digitalizadas para poder estudiarlas con algunos programas expresamente concebidos para su tratamiento.

Se realizó un estudio de la zona para identificar la posición de la cámara y reconocer los puntos de referencia sobre los que determinar la localización real de los *pixeles* de imagen. Este trabajo fue realizado por el departamento de la Escuela Técnica de Topógrafos de la Universidad Politécnica de Barcelona.

Se ha focalizado la atención en el tramo de cinta en el que la imagen es nítida y no existe movimiento de la cámara. Una cámara de vídeo convencional capta 25 imágenes por segundo por lo que se ha tomado una de cada cinco (esto es, cada 0,2 segundos) durante 5 segundos. Se ha tratado la imagen con falso color para detectar las porciones del tomado más fácilmente identificables.

La selección de las porciones vino impuesta por el modelo de tornado que se eligió en primera aproximación, esto es, el de un cilindro en rotación. Debido a que los *pixeles* de imagen están enmascarados en los bordes que definen el tornado, se han seleccionado aquellos que están en la zona frontal, relativamente alejados del oscurecimiento de los límites. Una vez detectadas estas porciones de imagen, se ha intentado reconocerlas en un foto-

grama posterior, siempre próximo en el tiempo y en el espacio, por lo que el desplazamiento se aproxima bien a un movimiento en el plano frontal (esto es, sin desplazamiento apreciable hacia o desde la cámara).

El símbolo (+) indica los puntos sobre los que se ha focalizado la atención en la imagen digitalizada. La imagen fue tratada y fuertemente contrastada mediante un programa informático que permite segmentar la imagen a partir de un cierto nivel de iluminación, de forma que aparezca en blanco la zona que interesa y en negro (nivel cero) el resto de la imagen. Este procedimiento permite observar las manchas elegidas como puntos negros en un fondo blanco o al contrario (véase la Fig. 2). Con las herramientas usadas en el departamento de Astronomía de la Universidad, se selecciona la zona para calcular la posición de su centro de masas. Este proceso se realizó con el siguiente fotograma elegido y se posiciona de nuevo. De las posiciones que van adquiriendo los centros de masas, se calcula la velocidad, tanto vertical como tangencial. Esta actuación se ha aplicado a 25 imágenes y se han obtenido 40 determinaciones de velocidad.

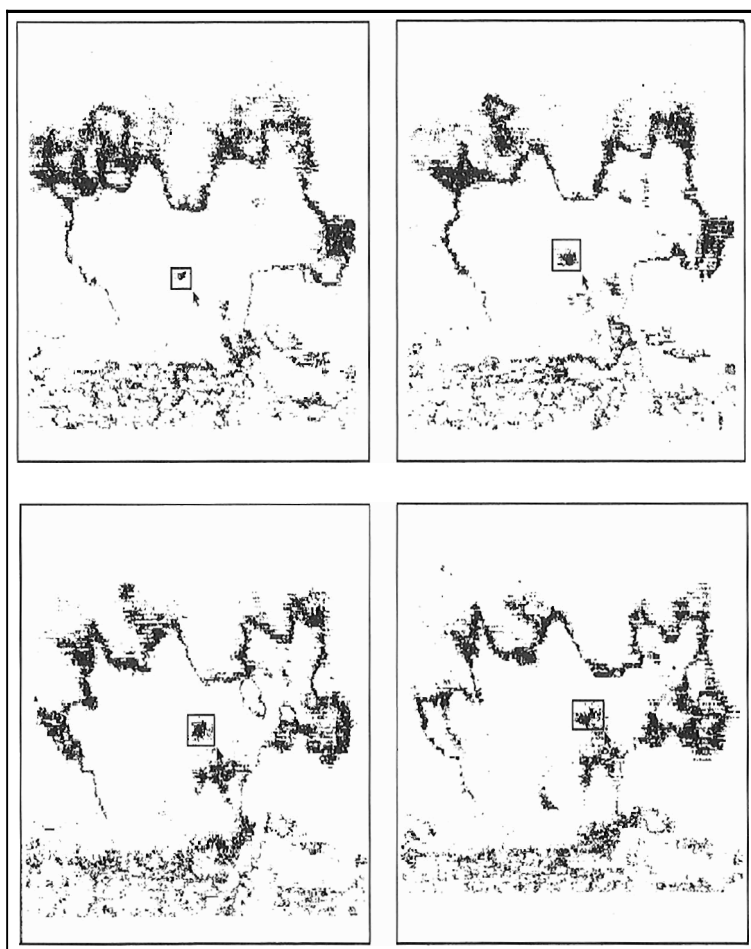


Fig. 2. *Imágenes digitalizadas del tornado. El rectángulo señala una porción reconocible en varios fotogramas*

Las velocidades en metros por segundo se presentan en la Fig. 3. Asimismo, con el símbolo (+) se muestran las porciones que se han contemplado en este estudio. Se han impuesto las condiciones de contorno de velocidad nula en tierra y en el eje del tornado y el contorno se ha suavizado.

Con todas estas limitaciones y en esta primera aproximación, la Fig. 3 presenta una estructura similar a la detectada en Estados Unidos con técnicas semejantes. Sin embargo, dadas las limitaciones apuntadas y el hecho de que los fragmentos de imagen en las capas bajas están mal definidos por el polvo que se remueve, las velocidades obtenidas en la capa inferior deben tomarse con mucha cautela. Este hecho ya fue apuntado por H. B. Bluestein (1990), que advierte de esta dificultad y la de una probable velocidad máxima ocultada a la fotogrametría por la nube.

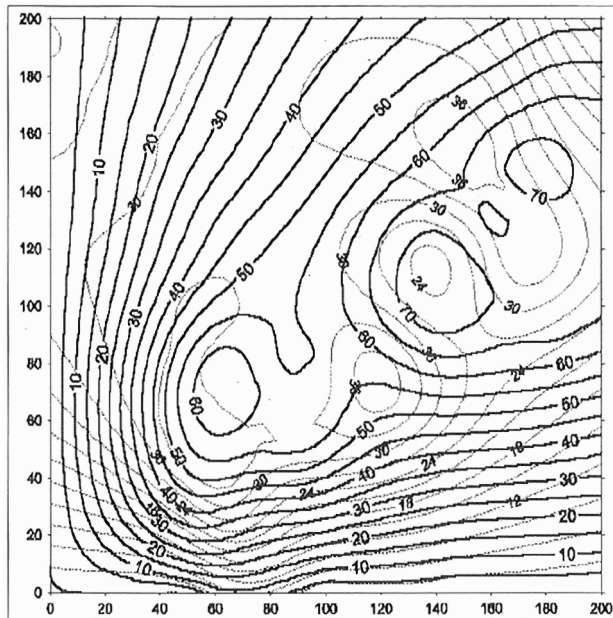


Fig. 3. Velocidades horizontales (líneas continuas) y verticales (líneas a trazos) en función de la distancia al eje del tornado (abscisas) y a la altura

El estudio que se ha presentado es sólo una primera aproximación y ya se está completando con mediciones de todos los puntos de imagen que puedan ser reconocibles. Asimismo, las limitaciones que se han impuesto son excesivamente simples y deben contemplarse bajo esta condición. En un futuro inmediato se estima tener realizado el estudio más profundo que aproveche el material videográfico de que se dispone.

Referencias

- Arús, J.; J. M. López; A. M. Mestres y C. Ramis (1996): Estudio meteorológico del día 31 de agosto de 1994: tornado de L'Espluga de Francolí. IV Simposio de predicción. INM. Madrid, abril 1996.
- Bluestein, H. B. (1990): A review of tornado observations. *The Tornado: its structure, dynamics, prediction, and hazards*. Geophysical Monograph, 79.
- Gayá, M. y A. Soliño (1992): Caps de fibró (trombas y tornados). Algunas observaciones recientes. III Simposio de Predicción. I.N.M. Madrid, diciembre 1992.
- Golden, J. H. y D. Purcell (1977): Photogrammetric velocities for the Great Bend, Kansas, tornado of 30 August 1974: accelerations and asymmetries. *Monthly Weather Review*, 105, 485-492.
- Livizgston, R. L. y Joseph T. Schaefer (1993): County-by-county data on strong and violent tornadoes. 17th Conference on severe local storms, Am. Met. Soc. 1993.
- Soliño, A. y M. Gayá (1992): La escala Fujita. Medida indirecta de la velocidad en tornados: descripción y utilización en el reconocimiento de canzpo. III Simposio de Predicción. INM. Madrid, diciembre 1992.
- Wakimoto, R. M. y B. E. Martner (1992): Observations of a Colorado Tornado. Part II: Combined photogrammetric and doppler radar analysis. *Monthly Weather Review*, 120, 522-543.

Agradecimientos

A los vecinos del municipio de L'Espluga de Francolí por las facilidades que nos dieron en un día en el que todavía no estaban bien restablecidos los servicios municipales y propios. A Albert Prades, del departamento de Meteorología y Astronomía de la Universidad de Barcelona, por su inestimable ayuda en el tratamiento de las imágenes. Al departamento de la Escuela Técnica de Topógrafos de la UPC por su trabajo cartográfico del entorno de L'Espluga. A Antonio Soliño por habernos iniciado en el estudio de campo.

De igual modo que el señalado anteriormente, se ha calculado el movimiento de traslación del tornado (no presentado aquí) y que en los fotogramas de estudio se ha cifrado en torno a los 7,5-10 m/s.

5. Conclusiones

Las mediciones de campo se han manifestado como absolutamente necesarias y deberían ser práctica común siempre que se sospechara la presencia de un tornado. Las posibles certificaciones que el INM realiza pueden tener, en las mediciones de campo, una herramienta Útil que informe de vientos casi nunca detectados por el instrumental adecuado. Las imágenes de vídeo, cada vez más corrientes, pueden aportar la luz suficiente para determinar las velocidades con una mayor precisión objetiva.